

**Aus dem Institut für Anatomie (Lehrstuhl I)
der Philipps-Universität in Marburg an der Lahn
(Leiter: Prof. Dr. med. J. W. Rohen)**

und

**Aus dem Institut für Anatomie (Lehrstuhl II)
der Ruhr-Universität in Bochum
(Direktor: Prof. Dr. med. K. H. Andres, MD)**

Zur Feinstruktur der Innervation der Zahnkrone mit besonderer Berücksichtigung der Dentinkanälchen

INAUGURAL-DISSERTATION

**zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde
dem Fachbereich Humanmedizin
der Philipps-Universität Marburg**

vorgelegt von

JUTTA JANSEN
geb. Schneider
aus Dresden

MARBURG 1974

Aus dem Institut für Anatomie (Lehrstuhl I)
der Philipps-Universität in Marburg an der Lahn
(Leiter: Prof. Dr. med. J. W. Rohen)
und

Aus dem Institut für Anatomie (Lehrstuhl II)
der Ruhr-Universität in Bochum
(Direktor: Prof. Dr. med. K. H. Andres, MD)

Zur Feinstruktur der Innervation der Zahnkrone mit besonderer Berücksichtigung der Dentinkanälchen

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde

dem Fachbereich Humanmedizin
der Philipps-Universität Marburg

vorgelegt von

JUTTA JANSEN

geb. Schneider

aus Dresden

MARBURG 1974



Angenommen vom Fachbereich Humanmedizin
der Universität Marburg am 30. Juli 1974
gedruckt mit Genehmigung des Fachbereiches
Dekan: Prof.Dr.med.H.Oepen
Referent: Prof.Dr.med.J.W.Rohen
Correferent: Prof.Dr.med.H.Schmidt

Inhaltsübersicht:

A. Einleitung

B. Material und Methode

C. Befunde

D. Zusammenfassung

E. Schrifttum

F. Bildanhang



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41552328_0105

A. Einleitung

Die Ergebnisse über die Innervation von Prädentin und Dentin sind auch heute noch sehr unterschiedlich. Die widersprüchlichen Auslegungen der histologischen Befunde haben wohl mehrere Gründe. Einmal sind sie in der schwierigen Bearbeitung verkalkten Gewebes zu suchen; zum anderen wirken sich verwendete Entkalkungsmittel ungünstig auf die Strukturhaltung aus. Einen nicht unwesentlichen Faktor, der die Zerstörung des Pulpagewebes beeinflußt, sehe ich in der Bearbeitung extrahierter Zähne, die noch im unfixierten Zustand starken mechanischen Beanspruchungen ausgesetzt sind. Aus diesem Grunde wurde für die vorliegende elektronenmikroskopische Arbeit perfusionsfixiertes tierisches Material verwendet.

Bereits Mitte des letzten Jahrhunderts beschäftigte sich BOLL (1868) mit der Frage der Dentinnervation. Nach vielen Versuchen kommt er zu dem Ergebnis, daß es zwei verschiedene Arten von "Zahncanälchen" geben müßte; die einen, die Fortsätze der "oberflächlichen Pulpazellen" aufnehmen und andere, die Nervenfasern führen. Es folgten Arbeiten von MORGENSTERN (1896), DEPENDORF (1913), DIECK (1927), RIEGELE (1934) und BERKELBACH VON DER SPRENKEL (1935). Die Ergebnisse der genannten Autoren werden zum Teil mit gewagten Hypothesen verbunden. So sieht beispielsweise

MORGENSTERN an der Schmelz-Dentingrenze einen "feinsten moosartigen Nervenplexus". Seiner Ansicht nach kommen im Dentin auch markhaltige Nervenfasern vor. Gemeinsam mit DEPENDORF nimmt er an, daß nervöse Fasern nicht nur in den Dentinkanälchen zusammen mit den Odontoblastenfortsätzen verlaufen, sondern ein großer Teil sich häufig verzweigend in der Grund-

substanz verläuft. Wesentlich vorsichtiger verhält sich WALKHOFF (1923) in der Deutung seiner Präparate, die er nach der BIELSCHOWSKY-Methode färbte. Er schließt nicht aus, daß es sich bei den in früheren Untersuchungen angenommenen Nervenfasern um unverkalkte v. EBNER'sche Fibrillen und v. KORFF'sche Fasern gehandelt haben könnte - zumal auch die Färbemethoden noch unvollkommen waren.

Übereinstimmend mit heutigen Ergebnissen sprachen WALKHOFF (1923), DEPENDORF (1913) und TOYODA (1934) von Nerven, die frei, das heißt ohne besondere Struktur, in der Pulpa und im Dentin endigen. Außerdem stellten sie keinen direkten Kontakt zu den Odontoblasten fest. WALKHOFF betont auch ausdrücklich, daß keinesfalls zu jedem Dentinkanälchen eine Nervenfaser zieht und ihre Ausdehnung sich nicht bis zur Schmelzgrenze erstreckt. Diesen Beobachtungen zufolge nimmt WALKHOFF an, daß nicht die vereinzelt Nervenfasern, sondern die Odontoblastenfortsätze für die Reizleitung verantwortlich seien. DIECK (1927) beschreibt in seinen Versuchen zum erstenmal postmortale Veränderungen des Zahnnervengewebes, die in Form von "perlschnur- oder knötchenartigen Verdickungen" auftreten. Ähnliche Strukturveränderungen beobachtet TOYODA (1934, 1935). Er nimmt 1955 eine vitale Fixierung an der Fledermaus vor.

Zu dem Ergebnis, daß Nerven im Dentin vorhanden sind, kommen MÜNCH (1934, 1935, 1959), BOCK (1960), FEARNEHEAD (1957, 1963) und KEREBEL (1964). Nur bis zum Prädentin können RAPP, AVERY and RECTOR (1957) Nervenfasern verfolgen, wo sie zum Teil frei enden oder kolbenförmige Endigungen aufweisen.

Die ersten elektronenmikroskopischen Bilder von ARWILL (1958, 1963) zeigen verschiedene Strukturen in den Dentintubuli, die aber keine Merkmale für Nerven-

fasern erkennen lassen. ARWILL (1967) schließt die Möglichkeit, daß Fasern im Prädentin und Dentin vorhanden sind, nicht aus, ist aber in der Interpretation seiner Befunde sehr vorsichtig. Er schreibt: "It would appear that the evidence suggests that the associated cells discribed might be of nervous origion". Als "associated cells" bezeichnet er die den Odontoblastenfortsätzen benachbarten Nervenfasern. Den eindeutigen Beweis, daß marklose Nervenfasern die TOMES'schen Fasern sowohl im Prädentin als auch im Dentin begleiten, bringt FRANK (1965, 1966, 1968a, 1968 b) zum erstenmal am menschlichen Zahn.

In der Elektrophysiologie wurde die Annahme, daß Rezeptoren im Dentin vorhanden sind, bestätigt (SCOTT Jr. and TEMPEL 1963, SCOTT 1966). Zum Versuch wurden Eckzähne von Katzen verwendet.

In der vorliegenden Arbeit sollen genauere morphologische Kriterien für die Charakterisierung und Differenzierung von Odontoblasten, Fibrozyten und Nervenfasern erbracht werden. Da die unmittelbare Umgebung der Nervenendigungen in der Pulpa und in den Dentinkanälchen für die Frage der Einwirkung von spezifischen Reizen ein wichtiger Parameter ist, soll im ersten Teil der Arbeit die genauere Struktur von Kronenpulpa und Dentin nach der Perfusionsfixierung beschrieben werden.

B. Material und Methode

Untersucht wurden gesunde, permanente Eckzähne von erwachsenen Katzen sowie Front- und Eckzähne eines erwachsenen Rhesusaffen. Die Narkose erfolgte durch Nembutal mit Zusatz von Liquemin zur Heparinisierung. Die Fixierung wurde retrograd über die Aorta thoracica durchgeführt (ANDRES, 1965). Zuvor wurde mit hypertonischer, auf

pH 7,8 gepufferter Michaelislösung unter Verwendung von Macrodex vorgespült. Die Temperatur der Lösung betrug 39° C. Zur Fixierung wurde eine 3,0 %ige Glutaraldehydlösung, die eisgekühlt war, verwendet. Der Perfusionsdruck betrug zu Beginn 120 mm Hg. Nach 10 Minuten wurde er langsam auf 60 - 50 - 40 mm Hg gesenkt. Nach 35 Minuten erfolgte die Nachspülung mit Phosphatpuffer nach SÖRENSEN bei einer Temperatur von 18 - 20° C. Da das reichhaltige Gefäßsystem der Pulpa für eine gute Fixierung sorgte, mußte nie mit Glutaraldehyd nachfixiert werden. Die Kiefer wurden danach in einer Zeit von 18 - 24 Tagen nach mehrmaligem Wechsel in Dinatriumäthylendiamintetraessigsäure (Titriplex III⁰, Merck) nach KISZELY und POSLAKY (siehe Romeis) entkalkt. Danach erfolgte Auswaschen in Phosphatpuffer während 4 - 5 Tagen bei Zimmertemperatur. Die Lösung wurde jeden Tag gewechselt. Bei kürzerer Zeit bleibt zuviel Entkalkungsmittel im Gewebe. Nach der Präparation, bei der nur der Knochen vom Zahn gelöst wurde, erfolgte die Nachfixierung in 4 %iger OsO₄ Lösung für 2 Stunden. Die anschließende Dehydratation wurde in aufsteigender Alkoholreihe und Propylenoxyd durchgeführt, wobei die einzelnen Stufen bis zu 20 Minuten ausgedehnt wurden. Die inzwischen mit einer Rasierklinge zerlegten Zahnstücke blieben danach 24 Stunden in einem Araldite-Propylenoxyd-Gemisch. Die endgültige Aralditeinbettung wurde 48 Stunden bei 65° C polymerisiert. Es wurden 0,5 mm dicke Semidünnschnitte in Serie am Reichert-Ultramikrotom hergestellt - Färbung der Schnitte nach Richardson et al. (1960) mit Zusatz von 40 % Saccharose, um Faltenbildung weitgehend zu vermeiden. Herstellung der 500 Å dicken Ultradünnschnitte mit Glasmessern ebenfalls am Reichert-Ultramikrotom. Färbung der Schnitte: 20 Minuten Uranylacetat. Anschließend 5 Minuten Bleicitrat (REYNOLDS, 1963). Photographiert wurden die Ultradünnschnitte ohne Trägerfolie am Zeiss EM 9S und die Semidünnschnitte am Leitz-Orthomat. Als Aufnahme-

material dienten Agepe-FF-Filme.

Befunde

Kronenpulpa

Die Nervenfaserbündel und das Blutgefäßnetz sind in der Pulpahöhle in ein sehr zartes retikuläres Bindegewebe eingebettet (Abb. 1). Die Fibrozyten der Kronenpulpa zeigen in den elektronenmikroskopischen Aufnahmen ein hell erscheinendes Grundplasma, in dem sich auffallend viele 70 Å dicke Filamente und vereinzelte Mikrotubuli deutlich abheben (Abb. 2). Die Fibrozyten bilden ein Raumnetz, in dem ihre langen dünnen Zellausläufer untereinander durch kleine Desmosomen und dichte Membrankontakte (tight junctions) zusammenhängen. Der weite Zwischenraum enthält nur wenig Kollagenfibrillen und Mikrofilamente. In der unmittelbaren Umgebung der Nervenfasern und Blutgefäße ist der Fibrillenanteil als Gitterfasernetz verdichtet. Im Bereich der Weil'schen Zone liegen die Fibrozyten und ihre Ausläufer sehr viel enger zusammen (Abb. 3). Der freie Bindegewebsraum ist hier entsprechend eingengt (Abb. 4). An der Basis der Odontoblastenzone sind die Fibrozytenausläufer mit den Odontoblastenfüßchen über Desmosomen verankert. Neben diesen kommen häufig tight junctions vor (Abb. 2). Das Grundplasma der Odontoblasten ist im Gegensatz zu dem der Fibrozyten sehr kontrastreich, so daß die Kontaktstellen zwischen diesen beiden Zelltypen sehr leicht zu erkennen sind.

Odontoblasten und ihre Fortsätze

Das Zytoplasma der Odontoblasten ist stellenweise so dicht strukturiert, daß zahlreiche Bauteile wie die 70 - 80 Å dicken Mikrofilamente, die 200 Å messenden Mikrotubuli sowie die Formation des endoplasmatischen Retikulums nur bei stärkeren elektronenmikroskopischen

Vergrößerungen deutlich zu erkennen sind. Die Mitochondrien sind in den basalen und perinukleären Zellabschnitten reichlich vorhanden. Sie fehlen vollständig in den als Tome'sche Fasern bekannten Odontoblastenfortsätzen. Bereits der im Prädentin liegende Abschnitt dieser Zellausläufer führt nur noch Mikrotubuli und Mikrofilamente (Abb. 5). Einzelne Vesikel, Tubuli des endoplasmatischen Retikulums wie auch pinocytotische Stachelsaumformationen (coated pits) können vorhanden sein. Im Gegensatz zu diesen Befunden, die an Katzenzähnen erhoben wurden, enthalten die Odontoblastenfortsätze des Rhesusaffen fast ausschließlich Filamente (Abb. 6). In den distalen Abschnitten der Tome'schen Fasern lassen sich parallel zur Faserachse verlaufende gestreckte zylinderförmige Körper nachweisen. Sie sind in der Regel 1 - 2 μ lang und 0,1 - 0,2 μ dick. Bei starker Auflösung zeigt sich eine feingranuläre Struktur (Abb. 7). Die Odontoblastenausläufer bzw. Tome'schen Fasern sind 150 - 200 μ lang. Der einzelne Fortsatz ist in der Richtung seines Dentinkanälchens fixiert. Semidesmosomenartige Fibrillenverdichtungen finden sich unter der Zytoplasmamembran, wo diese zur Kanälchenwand oder zu intrakanalikulären freien Kollagenfibrillen Haftpunkte bildet. Deutlich sind letztere im Bereich von seitlichen Nischen der Dentinkanälchen, in die die Tome'schen Fasern mit zipfelförmigen Ausläufern hineinragen (Abb. 8). Eine besondere Anhäufung von Mikrofilamenten findet sich in den Endspitzen der Odontoblastenausläufer (Abb. 9).

Prädentin und Dentin

Elektronenmikroskopisch läßt sich zeigen, daß die Feinstruktur des Dentins und Prädentins große Ähnlichkeiten zum Ossein und Osteoid aufweist. Das vorherrschende, strukturell erfaßbare Bauelement des Dentins und Prädentins sind die Kollagenfibrillen. Im Prädentin hat die Einzelfibrille einen Durchmesser von 300 - 400 Å.

Die Fibrillen des entkalkten Dentins erreichen nin- gegen das doppelte und dreifache Kaliber. Der auf- fällige Unterschied der Faserpackung von Prädentin und Dentin wird in der Abb. 10 deutlich. Als Zeichen der Dentinmineralisation sind im entkalkten Präparat Aufsplitterungen an den Kollagenfibrillen deutlich (Abb. 7).

Zahnkanälchen

Der Prädentinabschnitt des Zahnkanälchens erscheint in den elektronenmikroskopischen Aufnahmen als erwei- terte Aussparung zwischen den Kollagenfibrillen (Abb.10). Im Dentin sind die Zahnkanälchen von einem besonderen Material ausgekleidet. Im Semidünnschnitt reagiert dieser Kanälchensaum bei der Richardson-Färbung metachromatisch (Abb. 11 und 12). Im kontrastierten Ultradünnschnitt wird die Kanälchenrandzone von einem kontrastreichen granulären Saum gebildet. In den pulpa- nahen Abschnitten des Dentinkanälchens kann der Rand- saum gelegentlich stark verdickt sein und ein Stück weit in die Tubuluslichtung vorspringen (Abb. 8, 13 u. 19). Ähnliche Randsäume lassen sich im entkalkten Knochen an den Knochenkanälchen und Knochenhöhlen der Osteozyten nachweisen. Die mittleren und peripheren Abschnitte der Dentinkanälchen beherbergen keine Odontoblastenausläufer (Abb. 14). Hier ist die Ab- grenzung des Randsaumes zur Kanälchenlichtung weniger scharf. Kontrastreiches granuläres Material und feinste fädige Strukturen zeigen morphologisch Parallelen zur unmittelbaren Umgebung von Knorpelzellen. Die weiter distal liegenden Abschnitte enthalten wie die pulpanahen Dentinkanälchen freie nicht mineralisierte Kollagenfibrillen (Abb. 7, 9 u. 14). Echte Verzwei- gungen der Dentinkanälchen sind sehr selten; doch trifft man in den elektronenmikroskopischen Aufnahmen relativ häufig auf ästchenförmige Seitensprossen, die mit dem Material des Randsaumes gefüllt sind und ebenfalls im Semidünnschnitt metachromatisch reagieren.

Sie täuschen im Semidünnschnitt Sekundärästchen und die terminale Verzweigung unter dem Schmelz vor (Abb. 11A, 11B u. 14). In der Lichtung der terminalen Abschnitte der Dentinkanälchen finden sich dichtgepackte granuläre Strukturen, die pfropfartig die Endformationen der Kanälchen ausfüllen. Im Gegensatz zum Randsaum reagiert dieses Material nicht metachromatisch (Abb. 11B u. 15).

Nervenversorgung

Die Nervenfaserbündel, die in die Kronenpulpa eindringen, haben - wie auch in den anderen Abschnitten der Pulpahöhle - keine Perineuralscheide (Abb. 1). Die einzelnen Fasern sind zum größten Teil markhaltig. Ihre Kaliber betragen 3 - 4,5 μ . Das letzte Internodium nach einer Verzweigung innerhalb der Pulpa mißt in der Regel 2 - 2,5 μ im Querschnitt. Die Markscheide der Endverzweigungen hat zwischen 24 und 28 Membranwicklungen (Abb. 16). Etwa 30 μ unter dem Prädentin werden die Axone marklos und verzweigen sich zunehmend. Diese marklosen Endformationen der myelinisierten Fasern werden als Rezeptoraxone bezeichnet. Sie werden zunächst noch von der jeweils nachfolgenden nicht myelinisierten Schwannzelle geführt (Abb. 17). In der Weil'schen Zone verlassen die Rezeptoraxone ihre Faserumhüllungen endgültig. Die Axone liegen dann zwischen den Fibrozyten frei im Pulpараum. Sie bilden hier den Raschkow'schen Plexus. Die Fasern dringen in die Zone der Odontoblasten ein und begleiten schließlich die Odontoblastenfortsätze in die Dentinkanälchen. Spindelförmige und terminale Auftreibungen der Rezeptoraxone kommen innerhalb der Schicht der Odontoblasten im Prädentin sowie innerhalb der pulpanahen Dentinabschnitte vor. Die perlschnurartigen Auftreibungen der Axone liegen zum Teil in tiefen Eindellungen der Odontoblastenzelleiber und des Odontoblastenfortsatzes (Abb. 5, 6 u. 18). Synaptische Kontakte oder tight junctions wurden zwischen den sensiblen Endverzweigungen (Rezeptoraxone) und den

Odontoblasten nicht gefunden. Morphologisch darstellbare mechanische Verankerungen zwischen Rezeptoraxon und Dentinkanälchenwand oder zwischen Rezeptoraxon und Odontoblastenfortsätzen ließen sich nicht nachweisen. Das Grundplasma der verzweigten nicht myelinisierten Rezeptoraxone erscheint sehr dicht. Die vorhandenen Mikrotubuli und Neurofilamente sind vielfach von helleren Höfen umgeben (Abb. 17). In den spindelförmigen Erweiterungen ist das Grundplasma wolkig aufgehellte (Abb. 18, u. 19). Neben Mitochondrienansammlungen finden sich hier Bauelemente der Rezeptormatrix (Abb. 19). Sie besteht aus einem feinfilamentären Material unter der Axoplasmamembran, granulierten und nicht granulierten Vesikeln von 300 - 500 Å Durchmesser sowie Abschnitten des axoplasmatischen Retikulums. Die größeren Auftreibungen enthalten Anhäufungen von Glykogengranula (Abb. 18).

Ein Teil der Rezeptoraxone endet innerhalb der Schicht der Odontoblasten. Relativ viele Rezeptorendblasen liegen an der Grenze zum Prädentin. Die Innervation der Zahnkanälchen ist an der Kronenspitze besonders dicht. Hier enthalten die meisten Dentinkanälchen 3 - 5 gelegentlich bis zu 9 Axone. An der Kronenseite und an der Kronenbasis ist die Innervation sehr viel spärlicher. Die einzelnen Axone enden bereits 10 - 30 μ nach ihrem Eintritt in das Dentinkanälchen. Einzelne Axone dringen bis 70 μ in das Kanälchen ein. Alle Nervenfasern enden jedoch früher als die Odontoblastenausläufer.

Diskussion

Das Problem der Dentininnervation wurde in neuerer Zeit von FEARNHEAD (1957, 1963) und ARWILL (1963) lichtmikroskopisch diskutiert. Ihnen gelang es im Prädentin und Dentin Nervenfasern nachzuweisen, was wenig später von FRANK (1968) elektronenmikroskopisch bestätigt

wurde. Da diese Ergebnisse bis dahin einmalig waren, konnte man bedenkenlos Zweifel anmelden (PRITZ und STOCKINGER, 1971).

Mit Hilfe der Perfusionsfixierung ließen sich autolytische und artifizielle Zellveränderungen weitgehend vermeiden. Hierdurch gelang es mit Hilfe morphologischer Kriterien, die einzelnen zellulären Bauelemente der Kronenpulpa und des Dentins klar zu differenzieren. Somit ist auch die eindeutige Unterscheidung zwischen Odontoblastenfortsatz und Nervenfaser innerhalb der Dentinkanälchen problemlos geworden. Die kleineren Kaliber der Mikrotubuli, die Mitochondrien, sowie die Bauelemente der Rezeptormatrix (ANDRES, v. DÜRING, 1973) sind für die Rezeptoraxone charakteristisch. Nachdem auch in dieser Untersuchung die Ergebnisse von TSATSAS und FRANK (1972) bestätigt werden konnten, daß die Odontoblastenfortsätze nur im inneren Drittel der Dentinkanälchen liegen, wird die Frage der Reizübermittlung von der als besonders schmerzempfindlich bekannten Schmelz-Dentingrenze eingeengt. So lassen sich die Odontoblastenfortsätze als direkte Reizüberträger ausschließen. BRÄNNSTRÖM (1966) glaubt an einen hydrodynamischen Mechanismus, der für die Schmerzempfindung verantwortlich ist.

Ein mechanischer Reiz durch Verlagerung der Flüssigkeitssäule im äußeren $\frac{2}{3}$ des Dentinkanälchens würde sich besonders auf den im Dentinkanälchen fixierten Odontoblastenfortsatz wie auch auf die Varikositäten der Rezeptoraxone auswirken können. Solch ein mechanischer Reiz könnte ausgelöst werden durch Austritt von Flüssigkeit aus den Dentinkanälchen nach Verlust der abschließenden Schmelzschicht. Dieser Austritt würde durch erhöhte Verdampfung im Luftstrom oder aber durch osmotische Wirkung von im Speichel gelösten Stoffen - z.B. Zucker - verstärkt werden. Eine Verlagerung der Flüssigkeits-

säule durch Ausdehnung oder Kontraktion bei Erwärmung oder Unterkühlung ist auch am unverletzten Zahn möglich. Da bekannt ist, daß an Mechanorezeptoren schon geringe Verlagerungen der Rezeptormembran zu einer Erregung führen, ist ein solcher Mechanismus nicht unwahrscheinlich. Nicht auszuschließen sind bei der Verlagerung auch Verletzungen des Odontoblastenfortsatzes, zumal dieser an der Tubuluswand an zahlreichen Stellen mit zipfelförmigen Ausläufern befestigt ist (Abb. 20). In dem engen Bindegewebsraum dürfte es durch die Verletzung zu einer erheblichen Ionenverschiebung kommen. Letztere könnte von der Rezeptormembran als spezifischer Reiz gemessen werden. STOCKINGER und PRITZ (1970) sehen anhand ihrer Untersuchungsergebnisse in den bipolaren Bindegewebszellen, die sowohl untereinander als auch mit den Odontoblasten zahlreiche Membranverschmelzungen aufweisen, eine wichtige Rolle in der Reizübergabe. Da nach eigenen Untersuchungen eine Reiz- oder Erregungsübertragung über Synapsen oder tight junctions keine strukturelle Grundlage hat, ist eher eine unterstützende Funktion der Odontoblasten und Fibrozyten für die Erregungsbildung zu diskutieren. Möglicherweise wird durch ein gemeinsames Membranpotential dieses Zellverbandes die oben diskutierte Reaktion in den Dentinkanälchen verstärkt.

D. Zusammenfassung

Es wurde die Feinstruktur der Zahnkrone von erwachsenen Katzen untersucht. Die Befunde bestätigen, daß sensible Nervenendigungen zwischen den Odontoblasten, im Prädentin und im Dentin vorkommen. Die Endigungen ließen sich bis zu einer Tiefe von $70\text{ }\mu$ in den Dentinkanälchen verfolgen. Elektrotonische Synapsen zwischen Rezeptoraxonen und Odontoblasten konnten in dem untersuchten Material nicht beobachtet werden. Andererseits sind die Odontoblasten sowohl untereinander als auch mit den Fibrozytenausläufern der Weil'schen Zone durch tight junctions und Desmosomen netzförmig verbunden.

Die Dentinkanälchen in der Zahnkrone sind durch die in der Richtung liegenden Strukturen in 5 Abschnitte unterteilbar:

1. Endverzweigung an der Schmelz- Dentin-Grenze enthält Material des Randsaumes.
2. Apikaler Pol des Hauptkanälchens mit pfropfartigem Inhalt.
3. Intermediärer Abschnitt mit Randsaum ohne Odontoblastenfortsatz.
4. Proximaler Abschnitt mit Odontoblastenfortsatz.
5. Innervierter Abschnitt an der Dentin-Prädentin-Grenze.

Es wird der Mechanismus der Reiztransformation in die Erregung der Rezeptoraxone aufgrund der morphologischen Befunde diskutiert.

E. Schrifttum

- ANDRES, K.-H. Zur Methodik der Perfusionsfixierung des Zentralnervensystems von Säugern. Tagung der Niederländischen u. Dt. Elektronenmikr. Gesellschaft. Aachen 1965. Mikroskópíe 21, 169 (1967)
- ANDRES, K.-H. and M. v. DÜRING Morphology of cutaneous receptors. In: Handbook of sensory phys. , vol. II , pp. 3-28 Berlin-Heidelberg-New York : Springer 1973
- ARWILL, T. Innervation of the teeth . Publication of the Umea Research Library, Series No. 2, 3 Stockholm and Umeå (1958)
- ARWILL, T. The significance of the innervation of the predentine. Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. 13: 743-749, 1960
- ARWILL, T. Some morphological aspects of the dentinal innervation. In: Sensory Mechanisms in Dentine, ed. by D. J. Anderson. Oxford: Pergamon, pp. 3-14 , 1963
- ARWILL, T. Studies on the ultrastructure of dental tissue. II. The predentine- pulpal border zone. Odont. Revy., 18: 191-208, 1967
- ARWILL, T. The ultrastructure of the pulpo- dentinal border zone. In: Dentine and Pulp: Their Structure and Relations, ed. by N. B. B. Symons. London: Livingstone, pp. 147-167 1968
- BERKELBACH, H. Zur Neurologie des Zahnes. Z. mikr.-anat. Forsch. 46: 1-86, 1935

- BOCK, O. Über die Innervation des Dentins. Dtsch. Zahnärztl. Z. 15: 838-848, 1960
- BOLL, F. Untersuchungen über die Zahnpulpa. Arch. mikr. Anat. 4: 73-87, 1868
- BRÄNNSTRÖM, M. A hydrodynamic mechanism in the transmission of pain- producing stimuli through the dentine. In: Sensory Mechanisms in Dentine, ed. by D. J. Anderson. Oxford: Pergamon, pp. 73-79, 1963
- DEPENDORF, T. Beiträge zur Kenntnis der Innervierung der menschlichen Zahnpulpa und des Dentins. Dtsch. M. Schr. f. Zahnheilk. 9: 689-713, 1913
- DIECK, W. Über die alte Streitfrage der Existenz oder Nichtexistenz von Nervenfasern im menschlichen Zahnbein und ihre positive Lösung. Korresp. Bl. , Zahnärzte, 7: 138-145, 1927
- FEARNHEAD, R.W. The histological demonstration of nerve fibers in human dentine. In: Sensory Mechanisms in Dentine, ed. by D. J. Anderson. Oxford: Pergamon, pp. 15-24, 1963
- FRANK, R.M. Electron microscopical evidence of human dentin innervation. J. Dental Res. 44: 1142, 1965
- FRANK, R. M. Etude au microscope electronique de l'odontoblaste et du canicule lentaire humain. Arch. Oral Biol. 11: 179-190, 1966

- FRANK, R. M. Attachment sites between the odontoblast process and the intradental nerve fiber. Arch. Oral Biol. 13: 833-834, 1968 a
- FRANK, R. M. Ultrastructural relationship between the odontoblast, its process and nerve fibre. In: Dentine and Pulp: Their Structure and Reactions, ed. by N. B. B. Symons. London: Livingstone, pp. 115-145, 1968 b
- FRANK, R. M. The problem of dentin sensitivity. Ann. Odontostomatol (Lyon) 27, Juli-August 1970
- FRANK, R. M. Morphological basis of dental sensitivity. Int. Dent. J. 22: 1-19, 1971
- KEREBEL, B. Innervation de la predentine humaine. Actua-
lites Odonto. Stomat. 18: 181-202, 1964
- MÜNCH, J. Sinnesphysiologische und histologische Untersuchungsresultate zur Frage der Innervation menschlicher Zähne. Dtsch. ZMK-hlkd 1: 49-61, 1934
- MÜNCH, J. Die feinere Nervenversorgung der Zähne des Menschen. Dtsch. ZMK-hlkd. 12: 735-741, 1935
- MÜNCH, J. Nervengeflechte, Nervenknäule und freie Nervenendigungen in der Pulpa menschlicher Zähne. Dtsch. ZMK-hlkd. 30: 451-457, 1959
- MORGENSTERN, M. Innervation des Zahnbeines. Arch. f. Anat. und Physiol., Anat. 2: 378-394, 1896

- PRITZ, W., and L. STOCKINGER Über den Zahnschmerz. Osterr. Zeitschr. f. Stomat., 68: 170-178, 1971
- RAPP, R., J.K. AVERY, A study of the distribution of nerves in and R.A. RECTOR human teeth. J. Canadian Dent. Assoc. 23: 447-453, 1957
- RIEGELE, L. Beitrag zur Kenntnis der Innervation des menschlichen Dentins. Z. f. Zellf. u. mikr. Anat. 20: 432-441, 1934
- ROMEIS, B. Mikroskopische Technik. R. Oldenbourg Verlag, München, Wien 1968
- SCOTT, D., Jr. Excitation of the dentinal receptor in the tooth of the cat. In: Touch, Heat and Pain ed. by A. V. S. de Reuck and J. Knight. London: Churchill, pp. 261-273, 1966
- SCOTT, D., Jr., and T. R. TEMPEL Receptor potentials in response to thermal and other excitation. In: Sensory Mechanisms in Dentine, ed. by D. J. Anderson. Oxford: Pergamon, pp. 27-46, 1963
- STOCKINGER, L. und W. PRITZ Morphologische Aspekte der Schmerzempfindung im Zahn. Dtsch. Zahnärztl. Zeitschr. 25: 557-565, 1970
- TOYODA, M. Die Innervation des menschlichen Zahnbeins D Z W, J. 37, Nr. 28, 641-645, 1934
- TOYODA, M. Die Innervation des menschlichen Zahnbeins D Z Z 10, 51-53, 1955
- TSATSAT, B. G., and R. M. FRANK Ultrastructure of the dentinal tubular substances near the dentin-enamel junction. Calc. Tiss. Res. 237-242, 1972
- WALKHOFF, O. Die Nervenfrage im Zahnbein. Dtsch. Zahnheilk. Vortr., Heft 60, 1923

Meine akademischen Lehrer waren die Herren Professoren
und Dozenten:

Prof.Dr. Karl Hermann Andres, in Bochum
Prof.Dr. Wolfgang Bommer, in Marburg
Prof.Dr. Karl Dimroth, in Marburg
Prof.Dr. Ilse Hennis, in Marburg
Prof.Dr. Herbert Hensel, in Marburg
Prof.Dr.Dr. Hans-Jürgen Hering, in Marburg
Prof.Dr.Dr. Hans Heuser, in Marburg
Prof.Dr. Georg Janke, in Marburg
Prof.Dr. Peter Karlson, in Marburg
Prof.Dr. Gerhard Korb, in Marburg
Prof.Dr. Carl Mahr, in Marburg
Prof.Dr. Gunter Mann, in Marburg
Prof.Dr. Wolfhart Niemeyer, in Marburg
Prof.Dr. Wilhelm Nultsch, in Marburg
Prof.Dr. Horst Pantke, in Marburg
Prof.Dr. Gerhard Petry, in Marburg
Prof.Dr. Emmerich Pfütz, in Marburg
Prof.Dr. Johannes Rohen, in Marburg
Prof.Dr. Hans-Ulrich Rosemann, in Marburg
Prof.Dr. Walter Schmid, in Marburg
Prof.Dr. Helmut Schmidt, in Marburg
Prof.Dr. Hans Schnell, in Marburg
Prof.Dr. Friedrich Seidel, in Marburg
Prof.Dr. Rudolf Siegert, in Marburg
Prof.Dr. Wilhelm Walcher, in Marburg
Doz.Dr. Jürgen Haan, in Marburg
Doz.Dr. Klaus Havemann, in Marburg
Doz.Dr. Ernst-Otto Riecken, in Marburg

An dieser Stelle möchte ich Herrn Prof.Andres sowie Herrn Prof.Rohen für die Überlassung des Themas und die Ratschläge bei der Durchführung der Arbeit sehr herzlich danken.

Mein Dank gilt auch Herrn Prof.Schmidt für die Übernahme des Correferates.

Lebenslauf

Am 6.Februar 1945 wurde ich, Jutta Jansen, geborene Schneider, als drittes Kind des Studienrates Dr.Dipl. Ing. F.Richard Schneider und seiner Ehefrau Edith, geborene Müller, in Dresden geboren.Am 8.Mai 1945 fiel mein Vater in Hartha bei Dresden.Von Herbst 1951 bis Sommer 1958 besuchte ich die Grundschule in Dresden-Blasewitz.Nach Ablehnung zur Oberschule aus politischen Gründen ging ich ein Jahr lang zur Mittelschule.Im August 1960 flüchteten wir in die Bundesrepublik. Dort besuchte ich von Herbst 1960 bis Ostern 1962 das Aufbaugymnasium in Hilden, wechselte dann zum Aufbaugymnasium in Detmold über, wo ich am 19.Februar 1966 die Reifeprüfung bestand.

Im April 1966 begann ich an der Philipps-Universität in Marburg an der Lahn mit dem Studium der Zahnheilkunde. Am 11.März 1967 legte ich dort die naturwissenschaftliche Vorprüfung und am 9.Oktober 1968 die zahnärztliche Vorprüfung ab.Seit Sommersemester 1970 war ich zusätzlich in der Humanmedizin eingeschrieben.Im Oktober 1970 bestand ich die naturwissenschaftliche Vorprüfung. Die zahnärztliche Prüfung legte ich am 7.Juni 1971 ab. Danach ging ich an die Ruhr-Universität in Bochum.

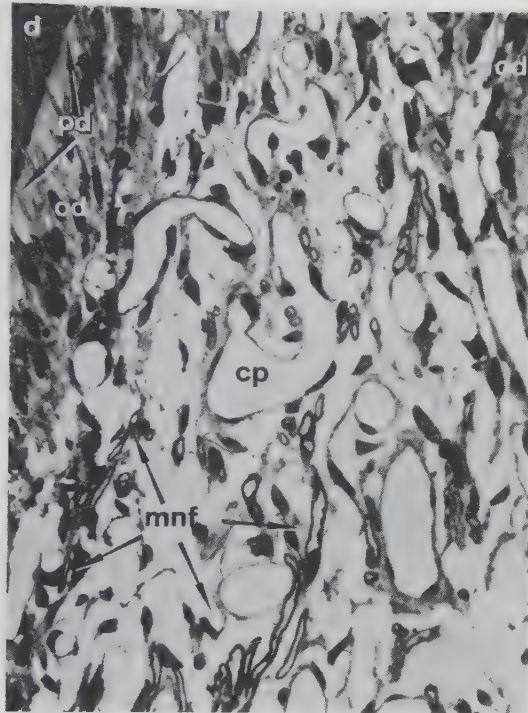


Abb. 1. Längsschnitt durch die Kronenpulpa des Eckzahnes einer Katze mit Odontoblastenzone (od), Prädentin (pd) und Dentin (d). In das feine retikuläre Bindegewebe sind zahlreiche markhaltige Nervenfasern (mnf) und Kapillaren (cp) eingebettet. Vergr. 700 x

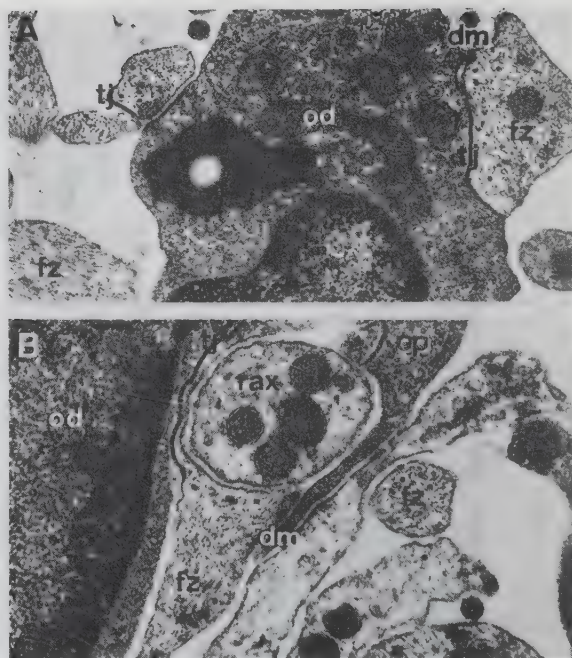


Abb. 2. Verbindungen zwischen Odontoblast und Fibrozytenausläufern der Weil'schen Zone in der Kronenpulpa der Katze.

A. Verbindung zwischen Odontoblast (od) und Fibrozyten (fz) in Form von tight junction (tj) und Desmosomen (dm).

B. Verbindung zwischen Odontoblastenfortsatz (op) und 3 Fibrozytenausläufern (fz). Ein Rezeptoraxon (rax) wird von Fibrozytenausläufern und einem Odontoblastenfortsatz umfaßt.

Vergr. 45000 x

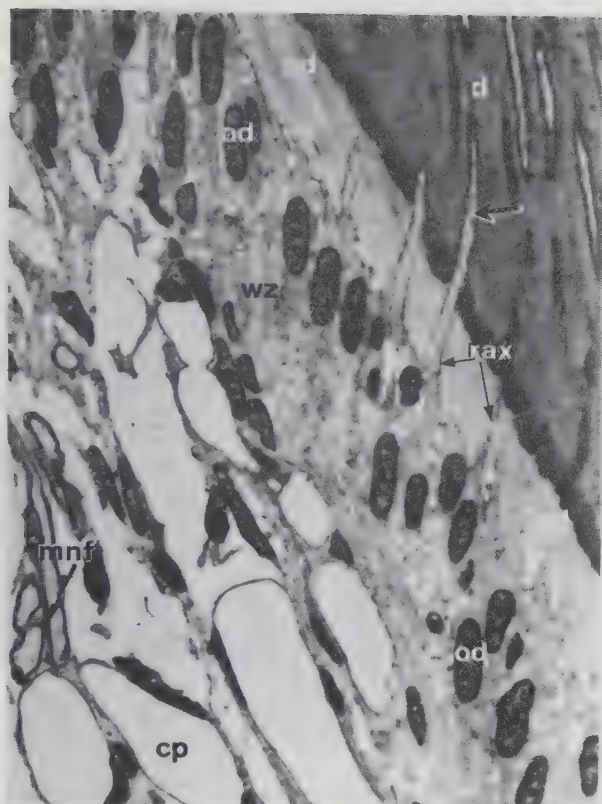


Abb. 3. Längsschnitt durch die seitliche Kronenpulpa eines Eckzahnes der Katze. Weil'sche Zone (wz), Odontoblastenzone (od), Prädentin (pd) und Dentin (d). Odontoblastenfortsätze lassen sich bis in die Dentinkanälchen verfolgen (s. Pfeil). Spindel- und blasenförmige Auftreibungen der sensiblen Nervenendigungen (rax) sind zu erkennen. Kapillare (cp), markhaltige Nervenfasern (mnf). Vergr. 1500 x

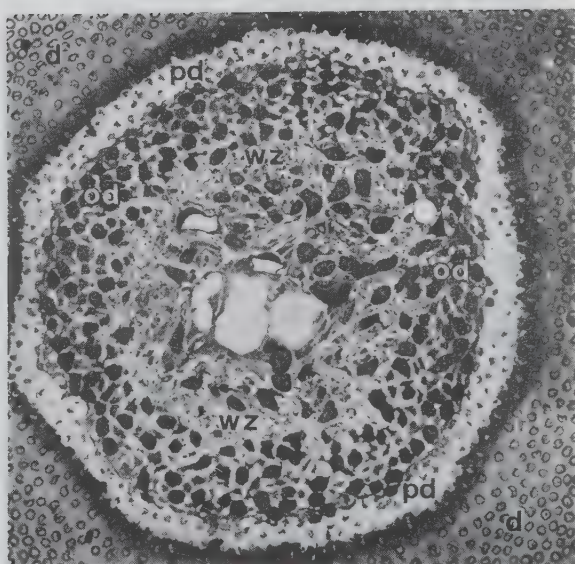


Abb. 4. Der Querschnitt durch den apikalen Pol der Kronenpulpa eines Eckzahnes der Katze zeigt die deutlichen Strukturunterschiede der Pulpawand und der Pulpa - Dentinegrenzen. Weil'sche Zone (wz), Odontoblastenzone (od), Prädentin (pd), Dentin (d) mit gefüllten Tubuli.

Vergr. 700 x



Abb. 5. Rezeptoraxonauftreibungen (rax) dellen streckenweise den Odontoblastenfortsatz (op) tief ein. Der Odontoblastenfortsatz enthält Mikrotubuli (mt), Mikrofilamente (mfl). Eine pinozytotische Krypte mit Stachelsaum (s. Pfeil), Kollagenfibrillen (cf) im Prädentin.

Vergr. 50000 x

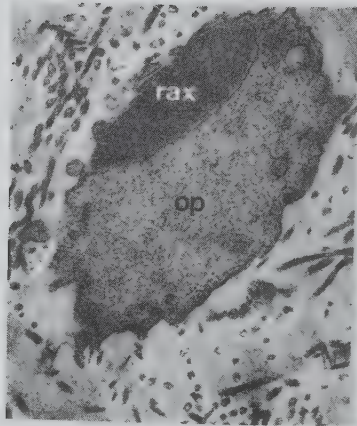


Abb. 6. Querschnitt durch einen Odontoblastenfortsatz (op) aus dem Prädentin eines Rhesusaffen. Der Fortsatz führt fast ausschließlich feinste Filamente. Die Rezeptorauftreibung (rax) enthält Vesikel.

Vergr. 25000 x

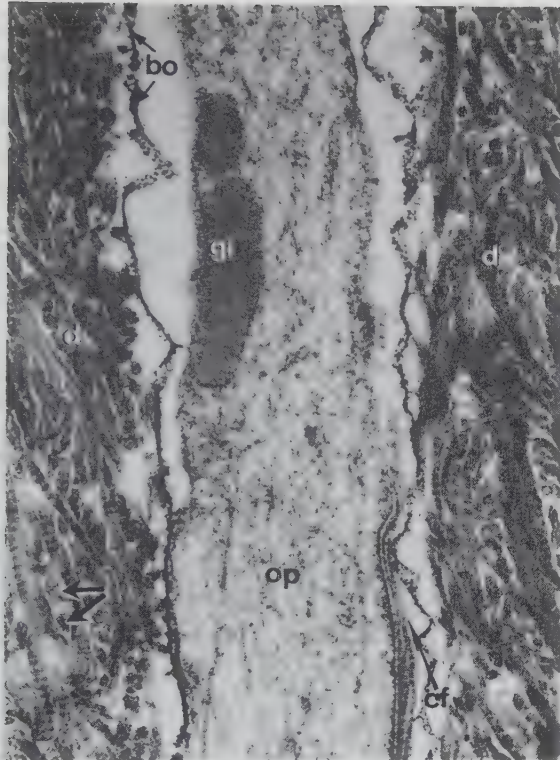


Abb. 7. Längsschnitt eines Dentintubulus mit Odontoblastenfortsatz (op). Am Rand des Kanälchens liegt ein kontrastreicher Saum (bo), der sich unterschiedlich weit in die Lichtung wölbt. Beachte die intratubulären Kollagenfibrillen (cf). Die mineralisierten Kollagenfibrillen des Dentins (d) lassen feine Aufsplitterungen erkennen (s. Pfeil). Granulärer Einschluß (gi). Vergr. 30000 x

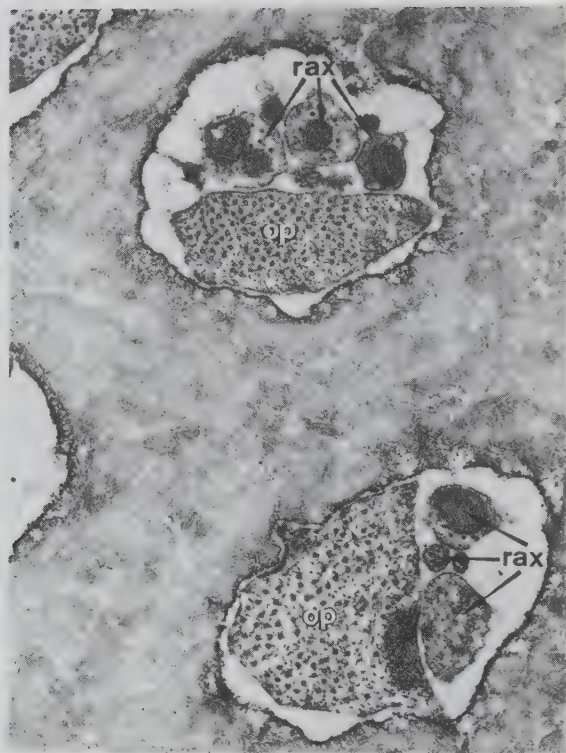


Abb. 8. Querschnitt durch pulpanahe Dentintubuli. Odontoblastenfortsatz (op), der mit zipfelförmigen Ausläufern an der Tubuluswand befestigt ist. Rezeptoraxone (rax) in der Lichtung der Dentinkanälchen zeigen unterschiedliche Kaliber. Ihre Mikrotubuli sind dünner als die des Odontoblastenfortsatzes. In ihrem Auftreibungen sieht man Mitochondrien und Rezeptormatrix.

Vergr. 40000 x

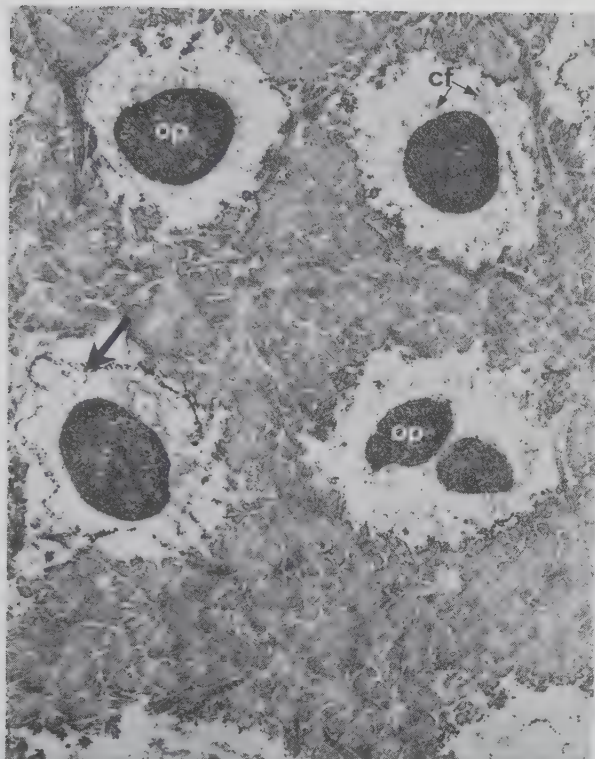


Abb. 9. Die Endspitzen der Odontoblastenausläufer (op) enthalten größere Mengen dichtgepackter Mikrofilamente. In ihrer näheren Umgebung finden sich heller erscheinende nichtmineralisierte Kollagenfibrillen (cf). Die locker granuliert Struktur des Randsaumes ist nur teilweise zur Tubuluslichtung scharf abgrenzbar (s. Pfeil).

Vergr. 30000 x

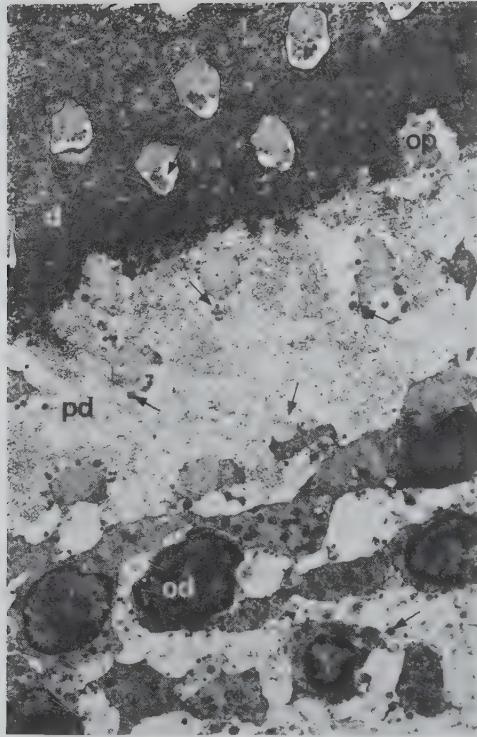


Abb. 10. Im Prädentin (pd) sind die Zahnkanälchen noch nicht scharf abgrenzbar. Die Kollagenfibrillen des Prädentins bilden einen weitmaschigen Verband. Odontoblasten (od) und ihre Fortsätze (op) sind von zahlreichen Rezeptoraxonen umgeben (s. Pfeile). Dentin (d).

Vergr. 11200 x

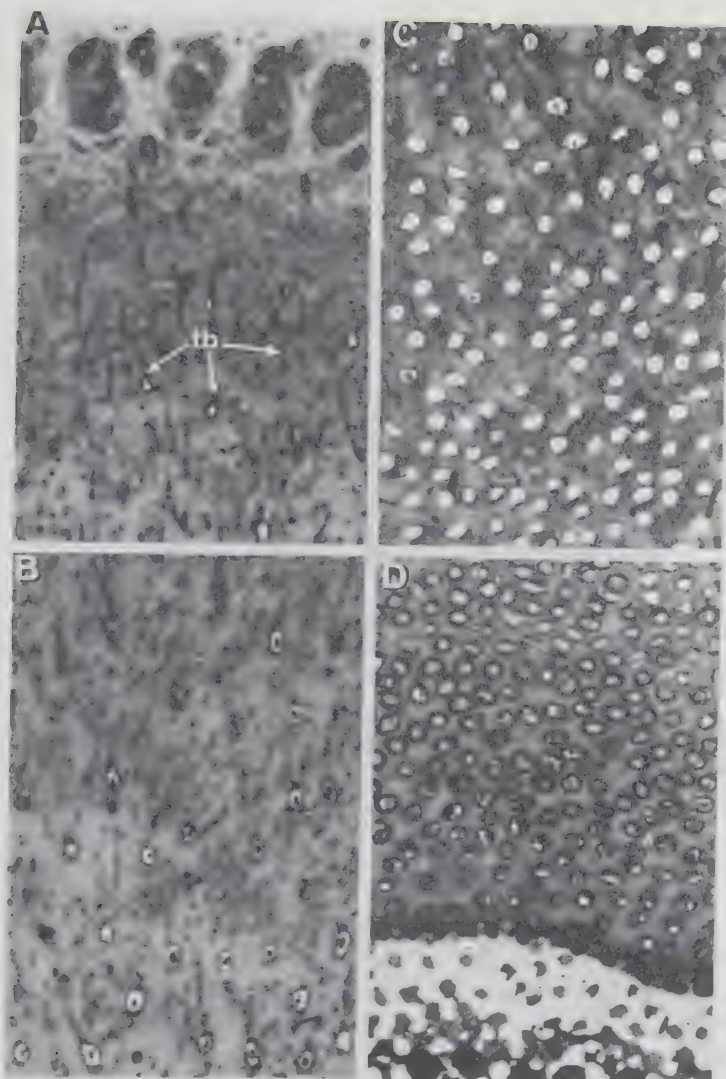


Abb. 11. Querschnitt von verschiedenen Regionen des Dentinkanals. A: Metachromatisch anfärbbare ästchenförmige Seitensprossen (tb) werden an der Grenze zum Dentin zahlreicher. B: Die terminalen Abschnitte der Tubuli enthalten pfropfartige Verdichtungen. C: Die mittleren Abschnitte sind leer und ohne Randsaum. D: Unmittelbar an die Pulpa angrenzend zeigen die Tubuli einen auffällig anfärbbaren Randsaum.

Vergr. 1500 x

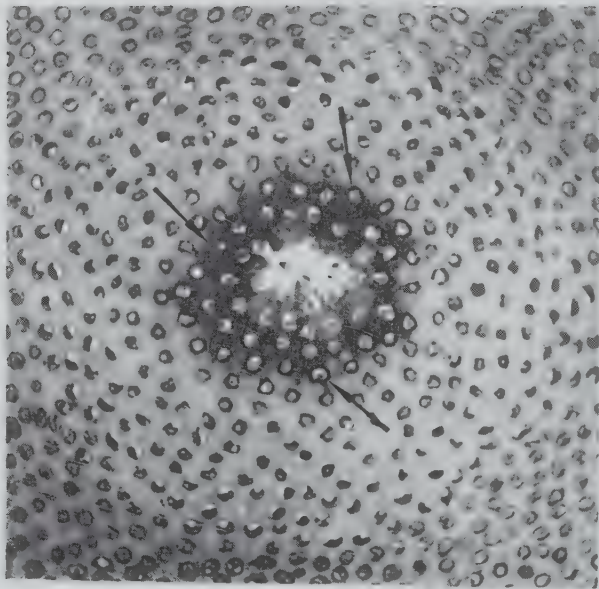


Abb. 12. Querschnitt durch die apikale Spitze der Kronenpulpa.
Beachte den verdickten Randsaum (s. Pfeile) der pulpen-
nahen Dentintubuli.

Vergr. 1200 x

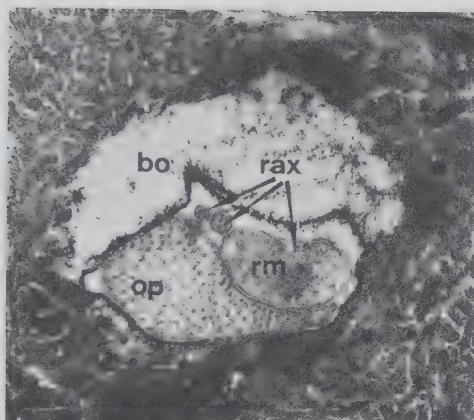


Abb. 13. Querschnitt eines Dentinkanälchens mit einer Randsaumverdichtung (bo). Die Kanälchenlichtung enthält einen Odontoblastenfortsatz (op) und drei Rezeptoraxone (rax). Die Axonaufreibung zeigt Bauelemente der Rezeptormatrix (rm). Mikrotubuli des Odontoblastenfortsatzes sind auffällig.

Vergr. 30000 x

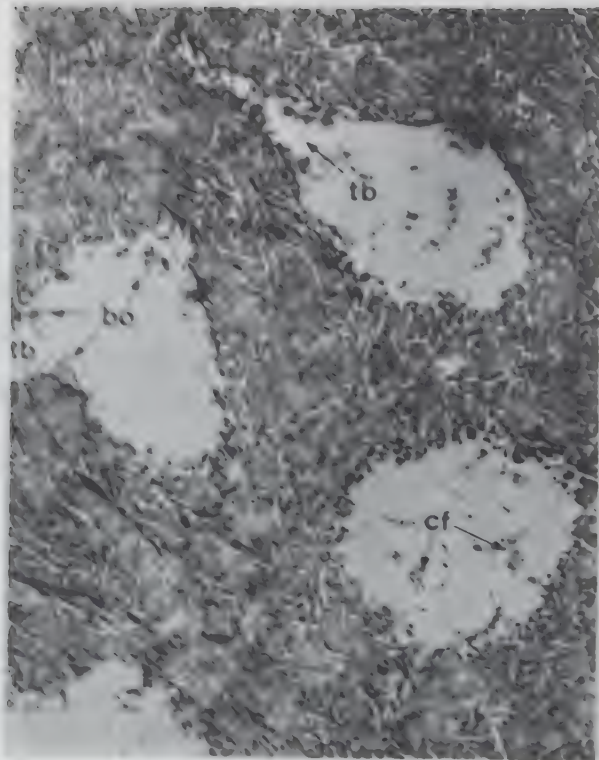


Abb. 11. Der mittlere Abschnitt des Dentinkanälchens enthält
 viele Chondroblastenfortsätze und vereinzelt Kollagenfibrillen (cf).
 Der Endknopf (bo) ist zur Kanälchenlichtung nur undeutlich
 abgrenzt. Seitenkanälchen (sc) hier in das Dentin führen.
 Vergr. 5000 $\times$

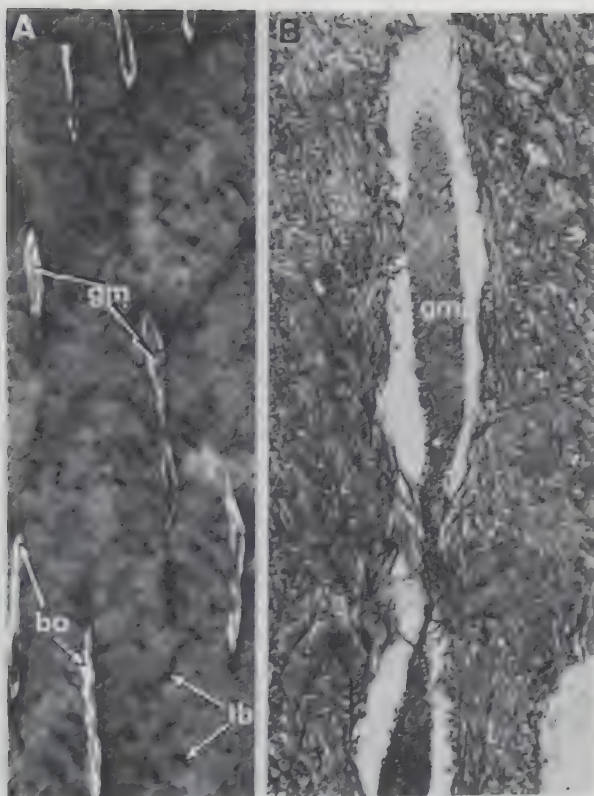


Abb. 15. Schrägschnitt durch Dentintubuli im äußeren Dentinbereich. Die Tubuli enthalten einen piroptartigen Inhalt (gm), der feingranulär strukturiert ist. Im Gegensatz zum Randbau (bc) und den Seitensprossen (tb) läßt sich dieser Kanälcheninhalt nicht metachromatisch anfärben.

A Lichtmikroskopische Aufnahme Vergr. 1500 x

B Elektronenmikroskopische Aufnahme Vergr. 12000 x

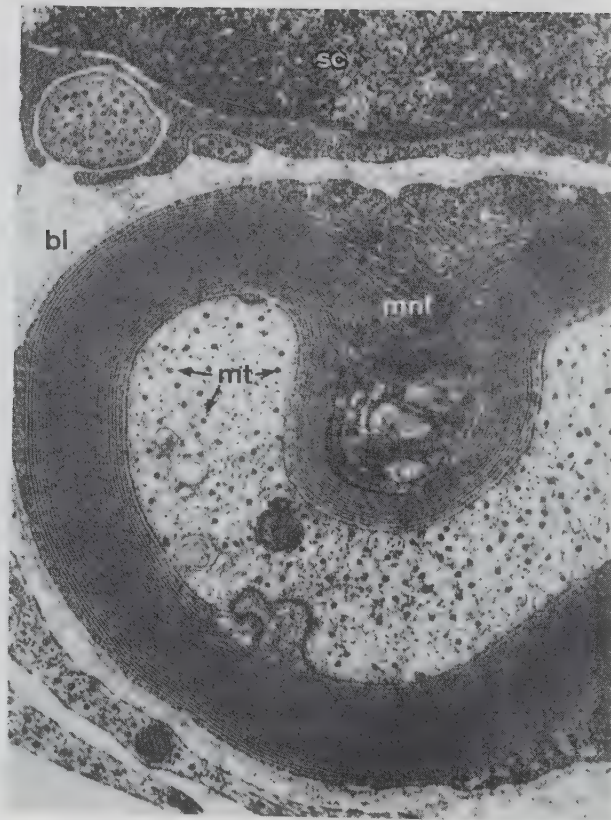


Abb. 16. Querschnitt durch das letzte Internodium einer sensiblen Nervenfasern (mnf) aus der Kronenpulpa der Katze. Darüber Anschnitt einer nicht myelinisierten Schwannzelle (sc), der zwei Rezeptoraxone angelagert sind. Beachte die Basallamelle (bl) der markhaltigen Nervenfasern. Mikrotubuli (mt). Vergr. 55000 x



Abb. 17. Querschnitt durch die Endverzweigung (rax) einer markhaltigen sensiblen Nervenfaser. Nur ein Teil der Rezeptor-axonäste ist von Schwannzellzytoplasma (sc) unmittelbar bedeckt. Beachte die Auflösung der Basallamelle (bl).
Vergr. 65000 x

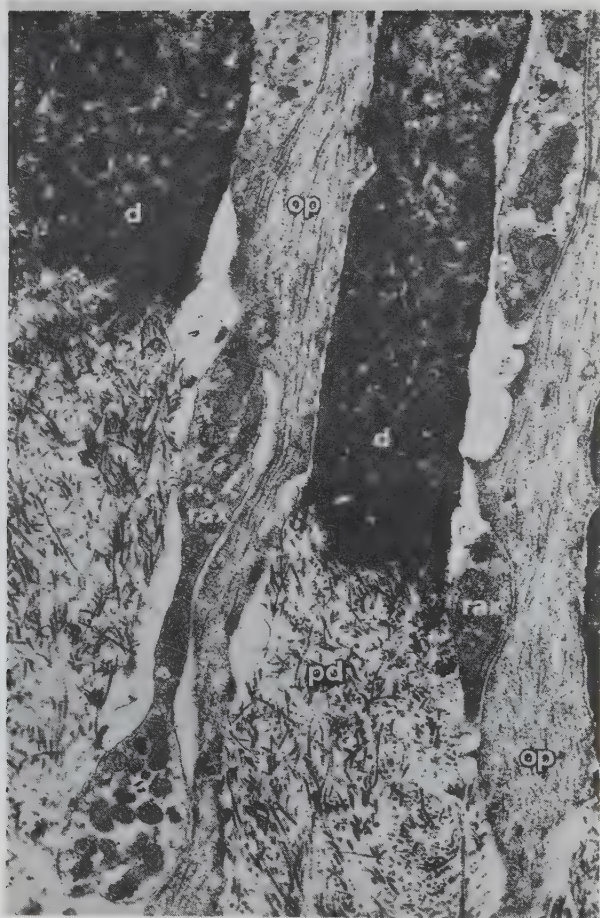


Abb. 18. Eintritt der Rezeptoraxone (rax) in die Dentinkanälchen. Die perlschnurartigen Auftreibungen enthalten zahlreiche Mitochondrien und Glykogengranula. Die Rezeptormatrix enthält feinfilamentäre Verdichtungen mit vesikulären Elementen. Dentin (d), Prädentin (pd), Odontoblastenfortsatz (op).

Vergr. 20000 x



Abb. 19. Längsschnitt durch die Endformation eines Rezeptoraxons (rax) im Dentinkanälchen. Die Rezeptormatrix (rm) bildet im apikalen Teil eine diffuse bis feinfilamentäre Verdichtung. Vesikel (v) zum Teil mit kontrastreichem Inhalt sowie osmiophile Körper sind mit Mitochondrien vergesellschaftet. Odontoblastenfortsatz (op), Dentin (d), Randsaum (bo), Bindegewebsraum des Dentinkanälchens (ct).

Vergr. 25000 x

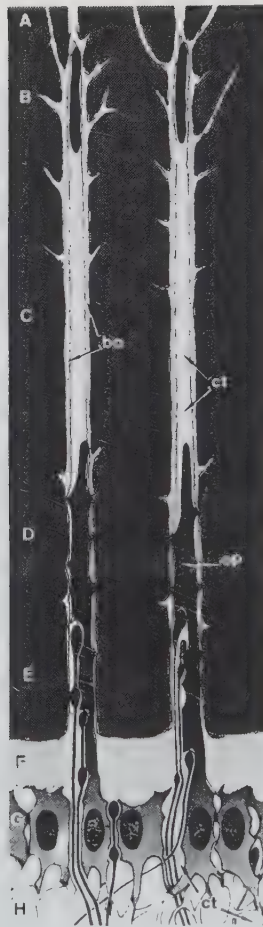


Abb. 20. Dentinkanälchen aus dem apikalen Bereich eines Eckzahnes der Katze in schematischer stark verkürzter Darstellung. Die einzelnen Abschnitte sind durch die in der Lichtung liegenden Strukturen charakterisiert. A Endverzweigung an der Schmelz-Dentin-Grenze enthält Material des Randsaumes. B Apikaler Pol des Hauptkanälchens mit pfropfartigem Inhalt. C Intermediärer Abschnitt mit Randsaum ohne Odontoblastenfortsatz. D Proximaler Abschnitt mit Odontoblastenfortsatz. E Innervierter Abschnitt an der Dentin-Prädentin-Grenze. F Prädentin. G Zone der Odontoblasten. H Weil'sche Zone. Der Bindegewebsspaltraum (ct) der Weil'schen Zone kommuniziert mit dem der Dentinkanälchen.

